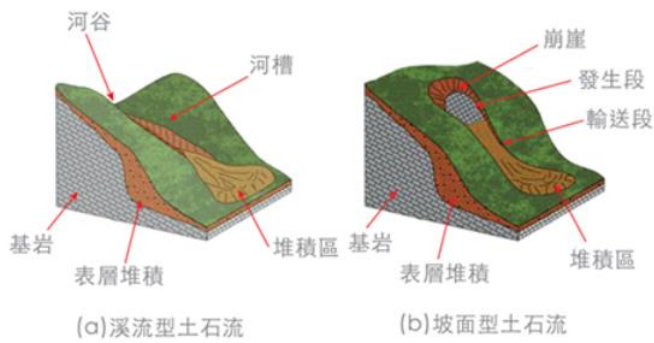


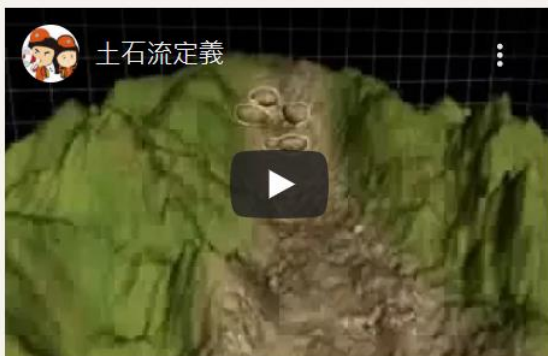


土石流 & 土石流災害

土石流係指泥、砂、礫及巨石等物質與水之混合物，受重力作用所產生之流動體，沿坡面或溝渠由高處往低處流動之自然現象。



坡面型與溪流型土石流示意圖(資料來源：Nettleton, I. M. et al., 2005)



影片告訴我

土石流的運動方式可以分成發生區、流動區與堆積區。發生區的橫剖面形狀多呈V字形，谷壁崩坍的碎屑會大量堆積在這裡，所以四周的植生常顯得相當稀疏。而流動區為U字形，通常位於山溝河谷流域的中下游，河床上會有河谷兩岸崩坍下來的碎屑物。至於堆積區則多在溪流下游出口處，常形成沖積扇狀的平坦地形，表面與前緣多巨大的岩塊堆積，整體看來像是一個伸長的舌頭。



土石流災害之定義

土石流不等於土石流災害，土石流為一種『自然現象』，但若因發生土石流時，導致人命傷亡，建築物、橋樑、公共建設毀損，造成生命或財產損失，才可稱為『土石流災害』。



延伸閱讀

在台灣，土石流大多在豪雨期間發生在山坡地或山谷之中，其外型與一般常見之混凝土砂漿極為相似，因此又被喻成『天然預拌混凝土』。

土石流為土壤沖蝕之一種特殊形態，常伴隨崩塌或地滑等沖蝕形態同時或延後出現。(土石流概論 2003)

土石流是一種飽含泥、砂、礫及巨石等物質與水之混合物，以重力作用為主，水流作用為輔的一種高濃度且流動快速的兩相流(two-phase flow)，具有明顯或至少可以辨識的坑溝流路，其下游側經常有舌狀或耳狀淤積段，且淤積段前緣有巨大石礫聚集。(水土保持手冊 2017)

一個大型的波狀運動，沿著河谷順流而下，其中夾雜了許多固體的和流體的組成物質，在移動的過程中，少部分波的移動速度較快而覆蓋到前方流動的土石之上，造成不斷的重疊現象。(Johnson, A. M., Rodine, J. R. 1984)

土石流是由土石兩水混合成一流體之集體搬運，而流體中含有大礫石、細粒砂、流木等，以大礫石為頭部之滾動、滑動、跳躍向下運動。(張立憲1985)

土石流為土石與水之混合體，其運動型態為集體搬運；與水流沖刷河岸或河床沖淤之個別搬運不同。(黃宏斌1991)

土石流乃風化土壤、崩積土或溪床堆積物因飽含水分而沿斜坡或溪床發生急速流動之現象。(張石角1995)

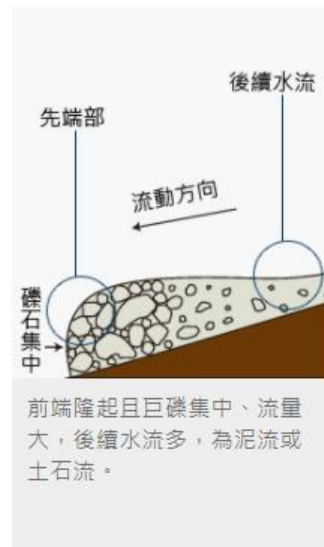
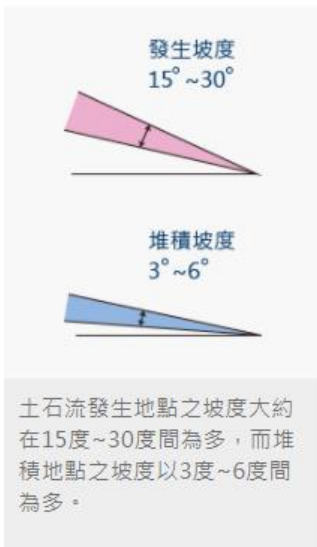
土石流是一種高濃度水砂混合兩相流(two-phase flow)，具有大量土砂礫石集中並呈隆起之先端部(forefront)，而以段波型態做高速運動的流動體。(連惠邦1996)

山崩後的土石或泥漿堆積在溪床或河谷中，在遭受豪雨侵襲或溪床逕流時，此堆積物便形成高含水量之黏稠狀液體順坡潰洩而下。(洪明瑞1998)

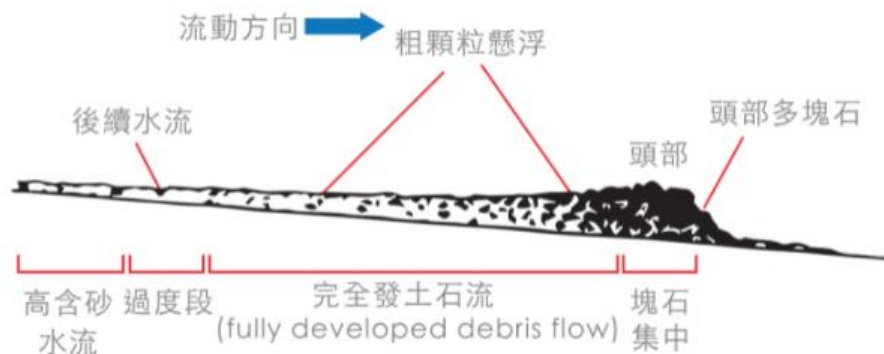


土石流特徵

1. 流動速度快、泥砂濃度高、沖蝕力強、衝擊力大。
2. 土石流表面流動速度快，而土石流下面流動速度較慢。
3. 土石流之流動速度受到所含有土石之粒徑大小、土石顆粒和泥水比例的多少、及溪谷坡度所影響。礫石型土石流流速約3~10m/s，而泥流型土石流則約為2~20m/s。
4. 土石流的前端隆起、流量大，多為集中的巨大石礫，後續的水流則多為泥流。
5. 土石流中石礫的分布多為大石頭在上、小石頭在下。
6. 由於溪谷出口的坡度緩且寬度大，能有效降低土石流的流動速度，因此土石流常在此形成扇狀堆積。



以2000年的桃芝颱風為例，在南投郡坑村及上安村下游一帶有一處寬闊且平面的區域，而此地形成了形成沖積扇一個很好的條件



土石流段波示意圖



土石流發生原因

土石流發生原因主要有三個：

1. 豐富的堆積物：足夠的鬆散土砂提供土石流中所需的固態物質。
2. 充份之水分：充分之水分能降低土石流中土砂之間的摩擦力，是很好的潤滑劑，能夠幫助固態物質流動。
3. 足夠的坡度：足夠大的斜面坡度讓土石流有流動的動力，使土石流能克服土石間的摩擦力後繼續向低處流動。



影片告訴我

形成土石流的基本要件，包括上游所堆積豐富的土石材料、適當的地形、坡度以及足夠的水分。在地質條件不穩定的山坡地，有許多風化後形成的大小石塊、泥砂、土壤，經由山崩、地滑與落石，而堆積在河谷或坡腳；這些土石材料，因位處傾斜的山麓斜坡上，若遇上豪雨帶來充沛雨量，在水流無法有效排出的情況下，土、石與水混合後，就會因重力順坡下滑，而形成破壞力無遠弗屆的土石流。



土石流發生徵兆

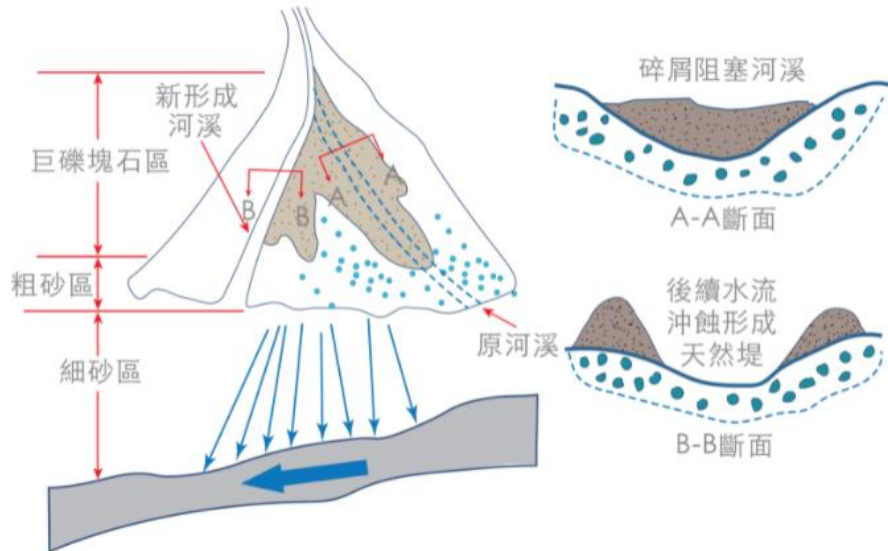
當土石流三個主要發生原因一成立（雨量多、土石多及坡度多等「三多」），土石流便可能發生。以下是發生前的徵兆和可能的造成原因。

土石流發生前徵兆				徵兆	原因
徵兆發生時間					
●	●	●	●	1. 附近有山崩或土石流發生(視覺)	代表周邊坡面與地質已處於不穩定狀態
●	●	●	●	2. 野溪流量突然增加(視覺)	上游可能有豪雨
●	●	●	●	3. 有異常的山鳴(聽覺)	上游可能已發生崩塌或土石流
●	●	●	●	4. 溪水流量急遽減少(視覺)	上游野溪可能被崩塌土石阻塞
●	●	●	●	5. 溪水中帶有流木(視覺)	上游可能發生山崩或河岸沖蝕
●	●	●	●	6. 溪水異常混濁(視覺)	上游可能發生山崩或河岸沖蝕
	●	●	●	7. 溪流中有石頭摩擦聲音(聽覺)	因溪流流量增大
	●	●	●	8. 有腐植土臭味(嗅覺)	上游可能發生山崩樹倒，從樹木腐植層散發出之臭土味
	●	●	●	9. 有樹木裂開之聲音(聽覺)	上游可能發生土石流，撞裂樹木之聲音
	●	●	●	10. 動物有異常行為(視覺)	動物的感官比人類敏銳，表示可能已發生人無法感受到的大自然異常現象
		●	●	11. 感覺地表震動(觸覺)	土石流滾動時造成之震動
		●	●	12. 上游有「Go」聲音(聽覺)及火光或像雷光的閃電	土石流流動時，巨石撞擊造成的現象
●	●	●	●	標示符號：	
●	●	●	●	必定發生 ● 發生可能性高 ● 有發生可能 ●	



土石流與一般挾砂水流之區別

特性	土石流	挾砂水流
搬運方式	集體搬運	個別搬運
搬運力量	以土體為主	以水體為主
礫石分布	巨礫集中在前端	無明顯分布特徵
顆粒組成	粒徑組成寬廣，小至黏土、大至塊石巨礫	粒徑組成較均勻
堆積性狀	整體堆積，粗顆粒堆積在前端	沿流動方向堆積，具分選性，粒顆粒分布於前端
泥砂含量	體積濃度約在0.28以上	體積濃度低
溪床沖刷型態	溪床及兩岸皆呈強烈沖刷，植生連根帶走	具有一般沖刷及局部沖刷特徵，仍有植生狀況
流體黏滯性	高	低
運動型態	具直進性，遇阻不繞流	依情況而定



典型土石流扇狀地(資料來源：修改自土砂災害與防治，2017)



土石流分類方式

按照不同的成因、地貌條件、組成物質、泥石來源、流體特性、激發因素、力學特徵及發育階段等不同指標，可將土石流區分為不同之類型。

分類指標	分類	參考文獻
土石流依地貌條件	溪流型土石流、坡面型土石流	水土保持手冊(2017)
土石流依土砂料源	崩塌型土石流、潰壩(臨時壩)型土石流、溪床沖刷型土石流、地湧型土石流、混合型土石流	水土保持手冊(2017)
土石流成因	自然土石流、人為土石流	詹錢登(2000)
土石流崩塌範圍大小	大規模崩塌誘發型、源頭部崩塌誘發型、小規模崩塌誘發型、溪床堆積物流動型土石流	中筋氏(1977)
土石流土砂提供(或運動)方式	滑動型、崩塌型、溝床侵蝕型、坡面侵蝕型土石流	周必凡(1980)
土石流激發因素	暴雨型、融雪型、暴雨融雪型、地震型、火山爆發型土石流	池谷浩(1980)
土石流發育階段	發展期、旺盛期、衰退期、停歇期土石流	陳光懺(1983)
土石流促發因素	激發、觸發、誘發型土石流	呂儒仁(1988)
土石流發生之地貌條件	河谷型、山坡型土石流	周必凡等(1991)
土石流流動力學特徵	土力類、水力類土石流	周必凡(1991)
土石流動力條件	水力、重力、動力土石流	吳建民(1991)
土石流發生型態	邊坡崩塌流體化土石流、河谷天然堰塞壩潰決土石流、溪床堆積土石不穩定土石流	Takahashi(1991)
土石流依顆粒組成	礫石型土石流、泥流型土石流及土石流等三類	水土保持手冊(2017)



其他容易被認錯之非土石流災害

岩屑崩滑



常發生在陡坡或峭壁上，為坡面上的岩土體受重力作用以自由落體、彈跳等方式落下的災害。

淺層滑動



土、石體沿著較不穩定的坡面滑動，但地形上沒有流動的溝槽。

侵蝕溝



由於雨水、逕流或風力的侵蝕作用，使固結的土體鬆散或移動，常會使細顆粒被帶出而使坡面產生淺溝槽，一般侵蝕溝規模較小。



土石流災害之型態

1 淤埋



下游沖積扇堆積淤埋。

2 沖刷



沖刷河道兩側造成侵蝕及溪床向下切深。

3 堵塞



溪流過窄及橋涵過低均易造成泥砂、石塊或流木堵塞。

4 撞擊



土石流流動時撞擊力極強，易將構造物撞毀穿透。

5 溪流改道



原有河道受土石流堆積或河岸崩塌而產生溪流改道。

6 磨蝕



堤防、固床工等混凝土結構物受土石流磨損。

7 擠壓主河道



河道兩側崩塌及支流帶入泥砂堆積會造成主河道擠壓。



各型態土石流災害之應變對策

土石流災害型態	說明	應變對策	
		硬體設施	軟體設施
淤埋	下游沖積扇堆積淤埋	溪流工法、生態工程	劃定土石流潛勢區、限制開發、輔導下游堆積區民眾遷移或及早疏散避難
沖刷	沖刷河道兩側造成侵蝕及溪床向下切深	溪流工法	限制河道兩岸開發並設置緩衝帶，兩岸居民及早疏散避難
堵塞	溪流過窄及橋涵過低均易造成泥砂、石塊或流木堵塞	疏通或清淤河道避免堵塞、加大河寬、減少橋墩並加大橋涵斷面積	注意河水水位與橋涵是否堵塞、及早通知易堵塞河道兩側居民疏散避難
撞擊	土石流流動時撞擊力極強，易將構造物撞毀穿透	溪流工法、橋樑工法	輔導土石流潛勢區居民遷移或及早疏散避難
溪流改道	原有河道受土石流堆積或河岸崩塌而產生溪流改道	溪流工法	輔導易發生崩塌或河道堆積區域居民遷移或及早疏散避難
磨蝕	堤防、固床工等混凝土結構物受土石流磨損	溪流工法、護坡工法	注意檢測工程結構物是否受損造成防護效益降低
擠壓主河道	河道兩側崩塌及支流帶入泥砂堆積會造成主河道擠壓	溪流工法	劃定土石流潛勢區、限制開發、輔導居民遷移或及早疏散避難



土石流潛勢溪流各區段之適用工法

區段	地形特徵	現象	治理目標	治理工法機制	適用工法
發生段	1. 位於溪流上游區段，呈漏斗狀 2. 溪床坡度約在10°以上 3. 岸坡陡峻，具有V字形橫斷面，土石裸露，岩石破碎，崩塌、地滑發達	溪床及崖錐不安定土砂移動	避免土石流發生	穩定溪床不安定土砂	系列防砂壩及固床工
		溪谷崩塌、地滑		控制溪谷崩塌、地滑之發生	系列防砂壩、擋土牆、坡面保護工程等
		降雨入滲及地表逕流		溪床沿承消能及坡面地表和地表下排水	系列潛壩、固床工、截排水設施、地表下橫向排水等
流動段	1. 溪床坡度介於6~12°之間 2. 溪流平面順直，多屬V型斷面，床質較為均勻 3. 均勻流動，沖淤互現，含砂濃度呈動態平衡。土層厚度可高達數至數10.0m	土石流撞擊	避免土石流發展	1. 攔阻巨礫 2. 降低流速	透過性壩(梳子壩、切口壩、格子壩等)系列防砂壩、部分透過性壩
		土石流氾濫		溢流點附近溪岸加高及加固	護岸、基礎保護工、導流堤
		土石流量遞增		鞏固溪床及兩岸、攔阻土石	系列防砂壩、固床工、透過性壩、部分透過性壩
		後續含砂水流氾濫		妥適工程設計及降低土石淤積溪床	清疏、工程適當設計(如預留足夠的出水高度)
		漂流木		攔阻漂流木	透過性壩、部分透過性壩



土石流警戒基準值訂定方法

土石流警戒基準值訂定

土石流警戒基準值(rainfall threshold value for debris flow warning)係利用中央氣象局之雨量資料，以有效累積雨量(R_t)及降雨強度(I)兩降雨參數之乘積為降雨驅動指標(RTI)，將具有相類似性質之土石流潛勢溪流集水區整合為一群集，以統計方法計算出同一群集之土石流降雨警戒雨量值，再行簡化為累積雨量，以供各地區研判土石流防災疏散避難時機之參考雨量警戒值。

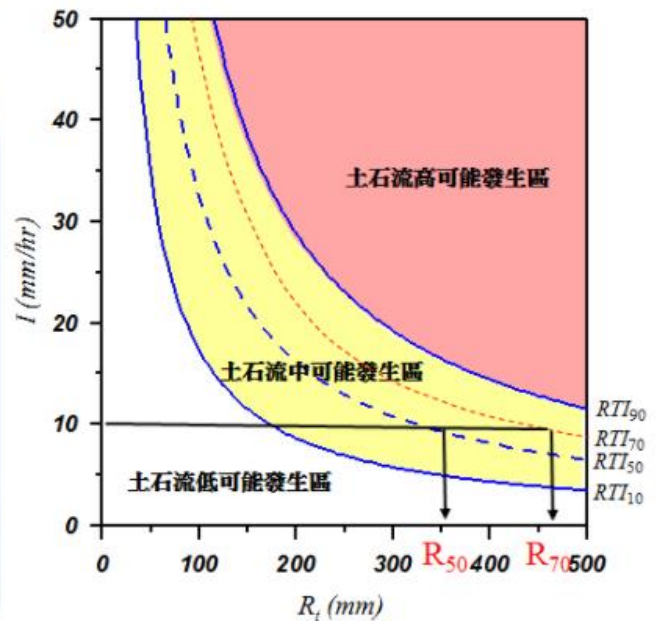
土石流警戒基準值查詢 降雨驅動指標： $RTI = I \times R_t$

降雨驅動指標

$$RTI = I \times R_t$$

訂定方式

- 依據歷史雨場事件所計算之RTI值，以 RTI_{70} (70%)作為基準。
- 在降雨強度 $I=10$ mm/hr 條件下，由降雨警戒基準值 RTI_{70} 推求土石流累積雨量警戒基準值 R_{70} 。
- 以50mm為1級距，設定土石流警戒基準值範圍以200mm為下限、600mm為上限(共9個級距)。

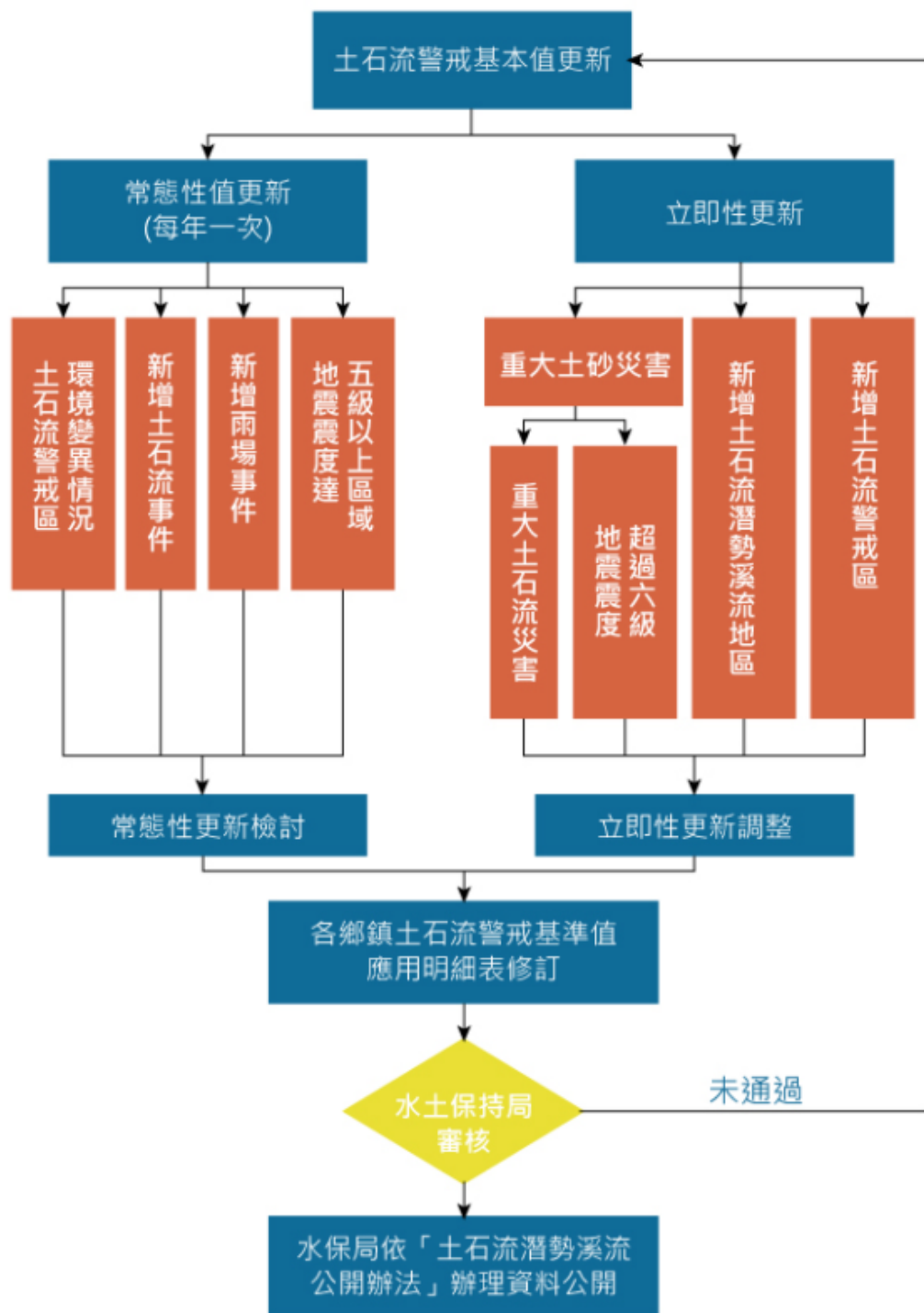


1. 依據土石流潛勢溪流警戒參考雨量站自設站以來之雨量資料及土石流發生資料，計算出全台各地區的土石流警戒基準值 R_{70} 。
2. 依據地震資料或重大土砂災害發生事件，調降地震震度達5級以上或重大土砂災害事件發生地區之土石流警戒基準值至 R_{50} 。
3. 坡面因地震或降雨而產生大面積崩塌，或有明顯致災之慮時，進行土石流警戒基準值立即性調整，依其現地情況對土石流警戒基準值提出調整建議。
4. 先前已調降為 R_{50} 之土石流警戒，在未調昇回原警戒值期間，若再遇到震度5級以上之地震，仍維持土石流警戒基準值為 R_{50} 。



土石流警戒基準值之調整

土石流警戒基準值更新標準作業程序



土石流警戒基準值常態性更新

1. 常態性更新週期為每年一次。
2. 土石流警戒基準值常態性更新之考量為新增雨量事件、新增土石流事件、震度達5級之地震事件及近年土石流警戒基準值調整警戒之環境變異情況。
3. 對近五年未發生土石流事件區域之警戒值進行調昇評估。

土石流警戒基準值立即性調整

1. 重大土砂災害事件發生，以重大土石流災害及重大地震(震度6級以上)事件屬之，應依據各災區情勢對土石流警戒基準值提出調整建議。
2. 新增之土石流潛勢溪流地區時，應檢討現行土石流警戒基準值有無更新之需要，若有應即檢討更新。
3. 新增之土石流警戒時，應根據歷年降雨資料、土石流發生事件及其地文資料等，以訂定土石流警戒基準值。

土石流警戒基準值調升機制與原則

1. 地震震度為5級地區，於地震二年後而且歷經至少3場以上累積雨量皆超過原土石流警戒基準值之颱風豪雨事件，並無發生土石流事件且環境無明顯變異者，調昇至原警戒值。
2. 地震震度大於或等於6級地區，於地震二年後而且歷經至少3場以上累積雨量皆超過原土石流警戒基準值之颱風豪雨事件，並無發生土石流事件且環境無明顯變異者，向上微調警戒值一個級距(50mm)，第三年再歷經2場颱風豪雨事件後，環境若仍無明顯變異者，調昇至原警戒值。
3. 重大土砂災區若無成為孤島之慮者，可檢討集水區坡地變異性，逐年進行微幅調整，避免日後一次大幅調升。

土石流警戒基準值動態性調整機制

1. 地震因素影響土石流警戒基準值動態調整機制

水土保持局得於土石流警戒期間，依據實際情況(如地震震度5級以上地震發生、居民反應或其他必須情況)，臨時調整某區域之土石流警戒基準值一級距(50 mm)。土石流警戒結束後，水土保持局得依據相關資料，考量該地區維持調整後之警戒基準值或恢復其原警戒值。

2. 高強度降雨土石流警戒基準值動態調整機制

為若降雨條件符合下列三級情勢之一時，則進行土石流警戒基準值的動態調整，在該土石流警戒期間結束之前，皆以調整後的警戒基準值作為土石流警戒狀態研判依據，說明如下：

一級調整：近3小時累積雨量大於200mm，原警戒基準值400mm以下(含)調降警戒值100 mm；原警戒基準值400 mm以上(不含)調降警戒值150 mm。

二級調整：近3小時累積雨量大於150 mm，原警戒基準值400mm以下(含)調降警戒值50 mm；原警戒基準值400 mm以上(不含)調降警戒值100mm。

三級調整：近2小時累積雨量大於100mm，原警戒基準值400mm以下(含)調降警戒值50mm；原警戒基準值400 mm以上(不含)維持不變。